



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 195 41 992 A 1**

⑤1 Int. Cl.⁸:
C 01 B 33/155
C 01 B 33/159
C 07 F 7/04

②1 Aktenzeichen: 195 41 992.8
②2 Anmeldetag: 10. 11. 95
④3 Offenlegungstag: 15. 5. 97

DE 195 41 992 A 1

⑦1 Anmeldedor:
Hoechst AG, 65929 Frankfurt, DE

⑦2 Erfinder:
Schwertfeger, Fritz, Dr., 60529 Frankfurt, DE;
Zimmermann, Andreas, Dr., 64347 Griesheim, DE

⑧4 Verfahren zur Herstellung von organisch modifizierten Aerogelen unter Verwendung von Alkoholen, bei dem gebildeten Salze ausgefällt werden

⑤7 Verfahren zur Herstellung von organisch modifizierten Aerogelen unter Verwendung von Alkoholen, bei dem die gebildeten Salze ausgefällt werden.

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von organisch modifizierten Aerogelen, bei dem man

e) aus einer wäßrigen Wasserglaslösung mit Hilfe mindestens einer organischen oder anorganischen Säure ein Kieselsäuresol herstellt, das einen pH-Wert $\leq 4,0$ hat,

b) das dabei entstandene Kieselsäuresol durch Zugabe einer Base zu einem SiO_2 -Gel polykondensiert,

c) das in Schritt b) erhaltene Gel mit einem organischen Lösungsmittel solange wäscht, bis der Wassergehalt des Gels ≤ 5 Gew.-% ist,

d) das in Schritt c) erhaltene Gel mit mindestens einem C₁-C₈-Alkohol oberflächenmodifiziert, und

e) das in Schritt d) erhaltene oberflächenmodifizierte Gel trocknet, dadurch gekennzeichnet, daß die mindestens eine Säure mit den Kationen des Wasserglases im Kieselsäuresol schwerlösliche Salze bildet, und man vor Schritt b) die gebildeten schwerlöslichen Salze weitestgehend ausfällt und vom Kieselsäuresol abtrennt.

DE 195 41 992 A 1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von organisch modifizierten SiO_2 -Aerogelen unter Verwendung von Alkoholen, bei dem die gebildeten Salze ausgefällt werden.

Aerogele, insbesondere solche mit Porositäten über 60% und Dichten unter $0,6 \text{ g/cm}^3$, weisen eine äußerst geringe thermische Leitfähigkeit auf und finden deshalb Anwendung als Wärmeisolationmaterial, wie z. B. in der EP-A-0 171 722 beschrieben.

Aerogele im weiteren Sinn, d. h. im Sinne von "Gel mit Luft als Dispersionsmittel", werden durch Trocknung eines geeigneten Gels hergestellt. Unter den Begriff "Aerogel" in diesem Sinne, fallen Aerogele im engeren Sinne, Xerogele und Kryogele. Dabei wird ein getrocknetes Gel als Aerogel im engeren Sinn bezeichnet, wenn die Flüssigkeit des Gels bei Temperaturen oberhalb der kritischen Temperatur und ausgehend von Drücken oberhalb des kritischen Druckes entfernt wird. Wird die Flüssigkeit des Gels dagegen unterkritisch, beispielsweise unter Bildung einer Flüssig-Dampf-Grenzphase entfernt, dann bezeichnet man das entstandene Gel als Xerogel. Es ist anzumerken, daß es sich bei den erfindungsgemäßen Gelen um Aerogele, im Sinne von Gel mit Luft als Dispersionsmittel handelt.

SiO_2 -Aerogele können beispielsweise durch saure Hydrolyse von Tetraethylorthosilikat in Ethanol hergestellt werden. Bei der Hydrolyse entsteht ein Gel, dessen Struktur unter anderem durch die Temperatur, den pH-Wert und die Dauer des Gelierprozesses bestimmt ist. Jedoch kollabiert die Gelstruktur im allgemeinen bei der Trocknung der nassen Gele, da die bei der Trocknung auftretenden Kapillarkräfte extrem groß sind. Der Gelkollaps kann dadurch verhindert werden, daß die Trocknung oberhalb der kritischen Temperatur und des kritischen Druckes des Lösungsmittels durchgeführt wird. Da in diesem Bereich die Phasengrenze flüssig/gasförmig verschwindet, entfallen auch die Kapillarkräfte und das Gel verändert sich während der Trocknung nicht, d. h. es tritt auch kein Schrumpfen des Gels während der Trocknung auf. Auf dieser Trocknungstechnik basierende Herstellungsverfahren sind z. B. aus der EP-A-0 396 076 oder der WO 92/03378 bekannt. Diese Technik erfordert aber, beispielsweise bei der Verwendung von Ethanol, eine Temperatur von etwa 240°C und Drücke von über 60 bar. Der Austausch von Ethanol gegen CO_2 vor der Trocknung erniedrigt zwar die Trocknungstemperatur auf ca. 30°C , der benötigte Druck liegt dann aber bei über 70 bar.

Eine Alternative zu obiger Trocknung bietet ein Verfahren zur unterkritischen Trocknung von SiO_2 -Gelen, wenn diese vor der Trocknung mit einem chlorhaltigen Silylierungsmittel umgesetzt werden. Das SiO_2 -Gel kann dabei beispielsweise durch saure Hydrolyse von Tetraalkoxysilanen, bevorzugt Tetraethoxysilan (TEOS), in einem geeigneten organischen Lösungsmittel, bevorzugt Ethanol, mittels Wasser erhalten werden. Nach Austausch des Lösungsmittels gegen ein geeignetes organisches Lösungsmittel wird in einem weiteren Schritt das erhaltene Gel mit einem chlorhaltigen Silylierungsmittel umgesetzt. Als Silylierungsmittel werden dabei aufgrund ihrer Reaktivität bevorzugt Methylchlorosilane ($\text{Me}_4-n\text{SiCl}_n$ mit $n = 1$ bis 3) eingesetzt. Das dabei entstehende, auf der Oberfläche mit Methylsilylgruppen modifizierte SiO_2 -Gel kann anschließend aus einem organischen Lösungsmittel heraus an der Luft getrocknet werden. Damit können Aerogele mit Dichten

unter $0,4 \text{ g/cm}^3$ und Porositäten über 60% erreicht werden.

Das auf dieser Trocknungstechnik basierende Herstellungsverfahren ist ausführlich in der WO 94/25149 beschrieben.

Die oben beschriebenen Gele können darüber hinaus vor der Trocknung in der alkohol-wäßrigen Lösung mit Tetraalkoxysilanen versetzt und gealtert werden, um die Gelnetzwerkstärke zu erhöhen, wie z. B. in der WO 92/20623 offenbart.

Die bei den oben beschriebenen Verfahren als Ausgangsmaterialien verwendeten Tetraalkoxysilane stellen jedoch einen außerordentlich hohen Kostenfaktor dar. Darüber hinaus fallen bei der Silylierung mittels chlorhaltiger Silylierungsmittel zwangsläufig in sehr großen Mengen Hydrogenchlorid (HCl) sowie eine Vielzahl damit verbundener Nebenprodukte an, die gegebenenfalls eine sehr aufwendige und kostenintensive Reinigung der silylierten SiO_2 -Gele durch mehrmaliges Waschen mit einem geeigneten organischen Lösungsmittel erfordern. Die damit verbundenen, besonders korrosionsbeständigen Produktionsanlagen sind ebenfalls sehr teuer. Das mit der Entstehung sehr großer Mengen an HCl-Gas verbundene Sicherheitsrisiko bedarf noch zusätzlich einer sehr aufwendigen Technik und ist damit ebenfalls sehr kostenintensiv.

Eine erste nicht unerhebliche Kostensenkung kann durch die Verwendung von Wasserglas als Ausgangsmaterial für die Herstellung der SiO_2 -Gele erreicht werden. Dazu kann beispielsweise aus einer wäßrigen Wasserglaslösung mit Hilfe eines Ionenaustauscherharzes eine Kieselsäure hergestellt werden, die durch Zugabe einer Base zu einem SiO_2 -Gel polykondensiert. Nach Austausch des wäßrigen Mediums gegen ein geeignetes organisches Lösungsmittel wird dann in einem weiteren Schritt das erhaltene Gel mit einem chlorhaltigen Silylierungsmittel umgesetzt. Als Silylierungsmittel werden dabei aufgrund ihrer Reaktivität ebenfalls bevorzugt Methylchlorosilane ($\text{Me}_4-n\text{SiCl}_n$ mit $n = 1$ bis 3) eingesetzt. Das dabei entstehende, auf der Oberfläche mit Methylsilylgruppen modifizierte SiO_2 -Gel kann anschließend ebenfalls aus einem organischen Lösungsmittel heraus an der Luft getrocknet werden. Das auf dieser Technik basierende Herstellungsverfahren wird z. B. in der DE-A-43 42 548 offenbart.

Die weiter oben beschriebenen, mit der Verwendung von chlorhaltigen Silylierungsmitteln verbundenen Probleme der außerordentlich hohen Verfahrenskosten sind jedoch durch die Verwendung von Wasserglas als Ausgangsmaterial nicht gelöst.

In der deutschen Patentanmeldung P 1 95 02 453.2 wird die Verwendung eines chlorfreien Silylierungsmittels beschrieben. Dazu wird das in den oben beschriebenen Verfahren, auf unterschiedlichen Wegen erhaltene silikatische Lyogel vorgelegt und mit einem chlorfreien Silylierungsmittel umgesetzt. Als Silylierungsmittel werden dabei vorzugsweise Methylisopropenoxysilane ($\text{Me}_4-n\text{Si}(\text{OC}(\text{CH}_3)\text{CH}_2)_n$ mit $n = 1$ bis 3) eingesetzt. Das dabei entstehende, auf der Oberfläche mit Methylsilylgruppen modifizierte SiO_2 -Gel kann anschließend wiederum aus einem organischen Lösungsmittel heraus an der Luft getrocknet werden.

Durch die Verwendung der chlorfreien Silylierungsmittel wird zwar das Problem der Bildung von HCl gelöst, jedoch stellen die verwendeten, chlorfreien Silylierungsmittel ebenfalls einen außerordentlich hohen Kostenfaktor dar.

In der WO 95/06617 werden hydrophobe Kieselsäu-

reerogele offenbart, die durch Umsetzung einer Wasserglaslösung mit einer Säure bei einem pH-Wert von 7,5 bis 11, weitgehende Befreiung des gebildeten Kiesel-säurehydrogels von ionischen Bestandteilen durch Waschen mit Wasser oder verdünnten wäßrigen Lösungen anorganischer Basen, wobei der pH-Wert des Hydrogels im Bereich von 7,5 bis 11 gehalten wird, Verdrängung der in dem Hydrogel enthaltenen wäßrigen Phase durch einen Alkohol und anschließende überkritische Trocknung des erhaltenen Alkogels, erhältlich sind.

Als Alkohole eignen sich dabei für den Wasseraustausch C_1 – C_5 -Alkohole, vorzugsweise C_3 – C_5 -Alkohole, insbesondere Isopropanol.

Es ist bekannt, daß es bei Verwendung der oben genannten Alkohole unter überkritischen Bedingungen (WO 95/06617) zu einer Veresterung des verwendeten Alkohols mit den Oberflächen-OH-Gruppen des Lyogels kommt. Dadurch können Alkoxy-modifizierte Aerogele, wie z. B. Isopropoxy-modifizierte Aerogele erhalten werden, die hydrophobe Oberflächengruppen aufweisen.

Nachteilig bei dem in der WO 95/06617 offenbarten Herstellungsverfahren ist jedoch, daß überkritische Bedingungen für die Trocknung benötigt werden, die z. B. für Isopropanol bei einer Temperatur im Bereich von 240 bis 280°C und bei einem Druck von etwa 55 bis 90 bar liegen.

Ein weiteres ungelöstes Problem stellen die bei der Herstellung von Aerogelen aus Wasserglas anfallenden wäßrigen Salzlösungen dar. Um eine Wasserglaslösung in ein zur Kondensation befähigtes Kieselsäuresol zu überführen, müssen die Kationen (meist Natrium- und/oder Kaliumionen) in der Wasserglaslösung gegen Protonen ausgetauscht werden. Dazu können organische oder anorganische Säuren verwendet werden. Die dabei zwangsläufig ebenfalls in gelöster Form entstehenden Salze der oben genannten Kationen (z. B. NaCl oder Na_2SO_4) müssen vor, während oder nach der Gelaute-rung aus dem Gel gewaschen werden. Diese stark verdünnten, wäßrigen Salzlösungen stellen heutzutage ein großes Entsorgungsproblem dar, da sie in größeren Mengen nicht mehr ohne weiteres in Flüsse und Seen eingeleitet werden dürfen. Eine den gängigen Vorschriften entsprechende Endlagerung dieser Lösungen stellt einen extrem hohen Kostenfaktor dar.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung war es deshalb, ein Verfahren zur Herstellung von Aerogelen mit hydrophoben Oberflächengruppen bereitzustellen, das keines der oben beschriebenen und damit aus dem Stand der Technik bekannten Probleme aufweist. Insbesondere soll das erfindungsgemäße Verfahren kostengünstig sowie verfahrenstechnisch einfach durchzuführen sein.

Eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung war es, ein Verfahren zur Herstellung von organisch modifizierten SiO_2 -Aerogelen bereitzustellen, bei dem keine verdünnten wäßrigen Salzlösungen anfallen.

Diese Aufgaben werden gelöst durch ein Verfahren zur Herstellung von organisch modifizierten Aerogelen, bei dem man

a) aus einer wäßrigen Wasserglaslösung mit Hilfe mindestens einer organischen oder anorganischen Säure ein Kieselsäuresol herstellt, das einen pH-Wert $\leq 4,0$ hat,

b) das dabei entstandene Kieselsäuresol durch Zugabe einer Base zu einem SiO_2 -Gel polykondensiert,

c) das in Schritt b) erhaltene Gel mit einem organischen Lösungsmittel solange wäscht, bis der Wassergehalt des Gels ≤ 5 Gew.% ist,

d) das in Schritt c) erhaltene Gel mit mindestens einem C_1 – C_6 -Alkohol oberflächenmodifiziert, und e) das in Schritt d) erhaltene oberflächenmodifizierte Gel trocknet, dadurch gekennzeichnet, daß die mindestens eine Säure mit den Kationen des Wasserglases im Kieselsäuresol schwerlösliche Salze bildet, und man vor Schritt b) die gebildeten, schwerlöslichen Salze weitestgehend ausfällt und vom Kieselsäuresol abtrennt.

Als Wasserglaslösung wird in Schritt a) im allgemeinen eine 6 bis 25 Gew.-%ige (bezogen auf den SiO_2 -Gehalt) Natrium- und/oder Kaliumwasserglaslösung verwendet. Bevorzugt ist eine 17 bis 20 Gew.-%ige Wasserglaslösung. Ferner kann die Wasserglaslösung auch bezogen auf SiO_2 bis 90 Gew.-% zur Kondensation befähigte Zirkonium-, Aluminium- und/oder Titan-Verbindungen enthalten.

Als Säuren werden allgemein 15 bis 50 Gew.-%ige Säuren verwendet, die mit Natrium- und/oder Kaliumionen schwerlösliche Salze bilden. Es können auch Mischungen entsprechender Säuren eingesetzt werden. Bevorzugt sind Schwefel-, Phosphor-, Fluß- und Oxalsäure. Besonders bevorzugt ist Schwefelsäure.

Um eine möglichst vollständige Ausfällung und eine gute Abtrennung der im Schritt a) gebildeten schwerlöslichen Salze zu erreichen, sollte das Kieselsäuresol eine Temperatur zwischen 0 und 30°C, vorzugsweise zwischen 0 und 15°C und besonders bevorzugt zwischen 0 und 5°C aufweisen. Dies kann dadurch erreicht werden, daß man die Wasserglaslösung, die Säure und/oder das Kieselsäuresol auf eine Temperatur zwischen 0 und 30°C, vorzugsweise zwischen 0 und 15°C und besonders bevorzugt zwischen 0 und 5°C bringt. Sollte sich dabei eine übersättigte Salzlösung bilden, so kann durch ein geeignetes Animpfen mit entsprechenden Impfkristallen das Salz zur Ausfällung gebracht werden.

Die Abtrennung der gefällten Salze erfolgt mit dem Fachmann bekannten Vorrichtungen, wie z. B. Filter, Fritten, Nutschen, Membranen oder Kristallisationsgefäßen. Bevorzugt sind halbkontinuierliche oder kontinuierliche Verfahren.

Nach der Abtrennung der Salze kann das Kieselsäuresol mit Wasser auf eine Konzentration zwischen 5 und 12 Gew.-% (bezogen auf den SiO_2 -Gehalt) eingestellt werden. Bevorzugt ist eine 6 bis 9 Gew.-%ige Kieselsäurelösung.

Die Polykondensation des nach Schritt a) erhaltenen, im wesentlichen salzfreien Kieselsäuresols zu einem SiO_2 -Gel erfolgt in Schritt b) durch Zugabe einer Base in einem pH-Wert-Bereich zwischen 3,0 und 7,0, vorzugsweise 4,0 und 6,0. Als Base wird im allgemeinen NH_4OH , NaOH, KOH, $Al(OH)_3$, kolloidale Kieselsäure und/oder eine alkalische Wasserglaslösung eingesetzt. Bevorzugt sind NH_4OH , NaOH und KOH, besonders bevorzugt ist NaOH. Es können aber auch Mischungen der selben verwendet werden.

Der Schritt b) wird im allgemeinen bei einer Temperatur zwischen dem Gefrierpunkt der Lösung und 100°C durchgeführt. Dabei kann gegebenenfalls gleichzeitig ein Formgebungsschritt, wie z. B. Spray-forming, Extrusion oder Tropfenbildung durchgeführt werden.

Vor Schritt c) läßt man das Gel vorzugsweise altern, und zwar im allgemeinen bei 40 bis 100°C, vorzugsweise bei 80 bis 100°C, und einem pH-Wert von 4 bis 11,

vorzugsweise 5 bis 7. Die Zeit dafür beträgt im allgemeinen 1 Sekunde bis 12 Stunden, vorzugsweise 1 Sekunde bis 5 Stunden.

Das gealterte Hydrogel kann gegebenenfalls noch mit Wasser elektrolytfrei gewaschen werden.

In Schritt c) wäscht man das aus Schritt b) erhaltene Gel mit einem organischen Lösungsmittel solange, bis der Wassergehalt des Gels ≤ 5 Gew.-%, vorzugsweise ≤ 2 Gew.-% und besonders bevorzugt ≤ 1 Gew.-%, ist. Als Lösungsmittel werden im allgemeinen aliphatische Alkohole, Ether, Ester oder Ketone, sowie aliphatische oder aromatische Kohlenwasserstoffe verwendet.

Bevorzugte Lösungsmittel sind C_1 – C_5 -Alkohole, Aceton, Tetrahydrofuran, Essigsäureethylester, Dioxan, n-Hexan und Toluol. Besonders bevorzugt als Lösungsmittel sind Isopropanol, Isobutanol, tert.-Butanol und Aceton. Man kann aber auch Gemische aus den genannten Lösungsmitteln verwenden. Ferner kann auch zuerst das Wasser mit einem wassermischbaren Alkohol ausgewaschen und dann dieser mit einem Kohlenwasserstoff ausgewaschen werden.

Darüber hinaus kann das in Schritt c) erhaltene Gel zusätzlich noch einem Lösungsmitteltausch unterworfen werden. Beim Lösungsmitteltausch können dabei prinzipiell die gleichen Lösungsmittel verwendet werden, wie beim Waschen in Schritt c). Die beim Waschen bevorzugten Lösungsmittel sind auch beim Lösungsmitteltausch bevorzugt.

Unter Lösungsmitteltausch ist dabei nicht nur der einmalige Tausch des Lösungsmittels zu verstehen, sondern gegebenenfalls auch das mehrmalige Wiederholen mit unterschiedlichen Lösungsmitteln.

Man kann auch das in Schritt c) erhaltene Lyogel einer weiteren Alterung unterziehen. Dies geschieht im allgemeinen zwischen 20°C und dem Siedepunkt des organischen Lösungsmittels. Gegebenenfalls kann auch unter Druck bei höheren Temperaturen gealtert werden. Die Zeit beträgt im allgemeinen 1 bis 48 Stunden, vorzugsweise 1 bis 24 Stunden.

Nach einer solchen Alterung kann sich gegebenenfalls ein weiterer Lösungsmitteltausch zu einem gleichen oder anderen Lösungsmittel anschließen. Dieser zusätzliche Alterungsschritt kann gegebenenfalls auch nochmals wiederholt werden.

In Schritt d) wird das aus Schritt c) erhaltene Gel mit mindestens einem C_1 – C_6 -Alkohol oberflächenmodifiziert, in dem es in einem Druckbehälter oder Autoklaven unter Druck und erhöhter Temperatur gehalten wird.

Vorzugsweise werden C_3 – C_5 -Alkohole verwendet, wie z. B. Isopropanol, Isobutanol, tert.-Butanol, sek.-Pentanol und tert.-Pentanol. Besonders bevorzugt sind Isopropanol, Isobutanol und tert.-Butanol.

Der Alkohol wird dabei im allgemeinen in einer Menge von 1 bis 100 Gew.-%, bezogen auf das gesamte Lösungsmittel eingesetzt.

Die Alkohole können allein, in Gemischen oder mit anderen nichtreaktiven organischen Lösungsmitteln oder Lösungsmittelgemischen, wie z. B. Aceton, Tetrahydrofuran, Dioxan, n-Hexan oder Toluol, verwendet werden.

Die Temperaturen und Drücke zur Oberflächenmodifizierung hängen vom jeweils verwendeten Lösungsmittel bzw. Lösungsmittelgemisch ab. Sie liegen jedoch deutlich unterhalb der kritischen Temperatur und des kritischen Druckes der verwendeten Alkohole.

Bevorzugt ist eine Temperatur zwischen 25°C und 220°C, besonders bevorzugt zwischen 150 und 220°C.

Der Druck liegt bevorzugt zwischen 1 und 50 bar, besonders bevorzugt zwischen 20 und 50 bar.

Die Zeiten, bei dem das Lyogel unter diesen Bedingungen gehalten wird, liegen im allgemeinen zwischen 30 Minuten und 20 Stunden, bevorzugt sind Zeiten zwischen 30 Minuten und 10 Stunden.

Gegebenenfalls können zusätzlich auch noch geringe Mengen eines Silylierungsmittels zugesetzt werden. Als Silylierungsmittel eignen sich im allgemeinen Silane der Formeln $R^1_{4-n}SiCl_n$ oder $R^1_{4-n}Si(OR^2)_n$ mit $n = 1$ bis 3, wobei R^1 und R^2 unabhängig voneinander C_1 – C_6 -Alkyl, Cyclohexyl oder Phenyl sind. Auch Isopropenoxysilane sowie Silazane sind geeignet. Vorzugsweise verwendet man Trimethylchlorsilan. Darüber hinaus können alle dem Fachmann bekannten Silylierungsmittel eingesetzt werden, beispielsweise auch solche, wie in der DE-A-44 30 669 offenbart.

Die Mengen liegen im allgemeinen zwischen 0 und 1 Gew.-% (bezogen auf das Lyogel), bevorzugt sind Konzentrationen zwischen 0 und 0,5 Gew.-%, besonders bevorzugt zwischen 0 und 0,2 Gew.-%.

Zur Beschleunigung des oberflächenmodifizierenden Prozesses kann sich ferner Wasser im System befinden. Bevorzugt sind dabei Konzentrationen zwischen 0 und 10 Gew.-% (bezogen auf das Lyogel). Darüber hinaus können sich auch dem Fachmann bekannte Katalysatoren, wie z. B. Säuren, Basen oder metallorganische Verbindungen zur Beschleunigung des Prozesses im System befinden.

Gegebenenfalls wird das im Schritt d) erhaltene oberflächenmodifizierte Gel vor dem Schritt e) noch einem Lösungsmitteltausch unterzogen. Als Lösungsmittel werden dazu im allgemeinen aliphatische Alkohole, Ether, Ester oder Ketone sowie aliphatische oder aromatische Kohlenwasserstoffe verwendet. Man kann auch Gemische der oben genannten Lösungsmittel verwenden. Bevorzugte Lösungsmittel sind Methanol, Ethanol, i-Propanol, Aceton, Tetrahydrofuran, Essigsäureethylester, Dioxan, n-Hexan, n-Heptan und Toluol. Besonders bevorzugt wird i-Propanol als Lösungsmittel verwendet.

In Schritt e) wird das oberflächenmodifizierte, und vorzugsweise danach gewaschene Gel vorzugsweise unterkritisch, besonders bevorzugt bei Temperaturen von –30 bis 200°C, und insbesondere von 0 bis 100°C, getrocknet. Die bei der Trocknung angewandten Drücke liegen vorzugsweise bei 0,001 bis 20 bar, besonders bevorzugt bei 0,01 bis 5 bar.

Das in Schritt d) erhaltene Gel kann auch überkritisch getrocknet werden. Dies erfordert entsprechend dem jeweiligen Lösungsmittel höhere Temperaturen als 200°C und/oder höhere Drücke als 20 bar. Dies ist ohne weiteres möglich, aber es ist mit erhöhtem Aufwand verbunden und bringt keine wesentlichen Vorteile mit sich.

Die Trocknung wird im allgemeinen so lange fortgeführt, bis das Gel einen Lösungsmittel-Restgehalt von weniger als 0,1 Gew.-% aufweist.

In einer weiteren Ausführungsform kann das Gel nach der formgebenden Polykondensation in Schritt b) und/oder jedem nachfolgenden Verfahrensschritt nach den dem Fachmann bekannten Techniken, wie z. B. Mahlen, zerkleinert werden.

Des weiteren können dem Sol vor der Gelherstellung zur Reduktion des Strahlungsbeitrags zur Wärmeleitfähigkeit IR-Trübungsmittel, wie z. B. Ruß, Titandioxid, Eisenoxide und/oder Zirkondioxid zugesetzt werden.

Ebenfalls vor der Gelherstellung können dem Sol zur

Erhöhung der mechanischen Stabilität Fasern zugesetzt werden. Als Fasermaterialien können anorganische Fasern, wie Glasfasern oder Mineralfasern, organische Fasern, wie Polyesterfasern, Aramidfasern, Nylonfasern oder Fasern pflanzlichen Ursprungs, sowie Gemische derselben verwendet werden. Die Fasern können auch beschichtet sein, z. B. Polyesterfasern, die mit einem Metall wie Aluminium metallisiert sind.

In einer weiteren Ausführungsform kann das Gel je nach Anwendung vor der Oberflächenmodifizierung noch einer Netzwerkverstärkung unterworfen werden. Dies geschieht, indem man das erhaltene Gel mit einer Lösung eines zur Kondensation befähigten Alkyl- und/oder Arylorthosilikates der Formel $R^1_{4-n}Si(OR^2)_n$, wobei $n = 2$ bis 4 ist und R^1 und R^2 unabhängig voneinander lineare oder verzweigte $C_1 - C_6$ -Alkyl-Reste, Cyclohexyl-Reste oder Phenyl-Reste sind, oder mit einer wäßrigen Kieselsäure-Lösung umsetzt. Diese Netzwerkverstärkung kann vor und/oder nach jedem durchgeführten Alterungsschritt bzw. Lösungsmitteltausch durchgeführt werden.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform weist das Gel vor der Trocknung einen E-Modul auf der größer als 3 MPa beträgt, eine Oberfläche nach BET auf, die kleiner als $700 \text{ m}^2/\text{g}$ ist und eine Porenradialverteilung auf, die im Bereich von 2 bis 20 nm , vorzugsweise im Bereich von 5 bis 10 nm , liegt, damit die nach der unterkritischen Trocknung erhaltenen Aerogele vorzugsweise eine Dichte von $\leq 200 \text{ kg/m}^3$, besonders bevorzugt von $\leq 150 \text{ kg/m}^3$ aufweisen.

Das erfindungsgemäße Verfahren wird im folgenden anhand von einem Ausführungsbeispiel näher beschrieben, ohne dadurch beschränkt zu werden.

Beispiel 1

236 g einer auf 0°C gekühlten 25% igen H_2SO_4 wurden unter ständigem Kühlen auf 0°C tropfenweise mit 707 g einer auf 7°C gekühlten Natriumwasserglaslösung (mit einem Gehalt von $17 \text{ Gew.}\% \text{ SiO}_2$ und einem $\text{Na}_2\text{O}:\text{SiO}_2$ Verhältnis von $1:3,3$) versetzt. Dabei stellte sich ein pH-Wert von $1,6$ ein. Das ausfallende $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{ H}_2\text{O}$ wurde bei 0°C mit Hilfe einer Nutsche vom Kieselsäuresol abgetrennt und das Kieselsäuresol mit $280 \text{ ml H}_2\text{O}$ verdünnt. Das so erhaltene Kieselsäuresol wurde bei einer Temperatur von 5°C unter Rühren mit 26 ml einer 1 n NaOH -Lösung versetzt, um einen pH-Wert von $4,7$ einzustellen. Danach wurde das entstandene Hydrogel $2,5$ Stunden bei 85°C gealtert.

Das Elastizitätsmodul des gealterten Hydrogels betrug $15,5 \text{ MPa}$. Es wurde mit 2 l warmem Wasser gewaschen und anschließend mit Isopropanol extrahiert, bis der Wassergehalt im Gel unter $2,0 \text{ Gew.}\%$ lag. Anschließend wurde das isopropanolhaltige Lyogel in Isopropanol in einem Autoklaven auf 220°C und einen Druck von 40 bar erhitzt und 3 Stunden unter diesen Bedingungen gehalten. Die Trocknung des Gels erfolgte an Luft (3 Stunden bei 40°C , dann 2 Stunden bei 50°C und 12 Stunden bei 150°C).

Das so erhaltene, transparente Aerogel hatte eine Dichte von $0,15 \text{ g/cm}^3$. Die spezifische Oberfläche nach BET lag bei $500 \text{ m}^2/\text{g}$. Der λ -Wert lag bei $0,018 \text{ W/mK}$.

Die Wärmeleitfähigkeit wurde jeweils mit einer Heizdrahtmethode (s. z. B. O. Nielsson, G. Rüschpöhler, J. Groß, J. Fricke, High Temperatures — High Pressures, Vol. 21, 267 — 274 (1989)) gemessen.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung von organisch modifizierten Aerogelen, bei dem man

a) aus einer wäßrigen Wasserglaslösung mit Hilfe mindestens einer organischen oder anorganischen Säure ein Kieselsäuresol herstellt, das einen pH-Wert $\leq 4,0$ hat,

b) das dabei entstandene Kieselsäuresol durch Zugabe einer Base zu einem SiO_2 -Gel polykondensiert,

c) das in Schritt b) erhaltene Gel mit einem organischen Lösungsmittel solange wäscht, bis der Wassergehalt des Gels $\leq 5 \text{ Gew.}\%$ ist,

d) das in Schritt c) erhaltene Gel mit mindestens einem $C_1 - C_6$ -Alkohol oberflächenmodifiziert, und

e) das in Schritt d) erhaltene oberflächenmodifizierte Gel trocknet, dadurch gekennzeichnet, daß die mindestens eine Säure mit den Kationen des Wasserglases im Kieselsäuresol schwerlösliche Salze bildet, und man vor Schritt b) die gebildeten schwerlöslichen Salze weitestgehend ausfällt und vom Kieselsäuresol abtrennt.

2. Verfahren gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß man als Wasserglaslösung in Schritt a) eine 6 bis $25 \text{ Gew.}\%$ ige Natrium- und/oder Kaliumwasserglaslösung verwendet.

3. Verfahren gemäß Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Wasserglaslösung, bezogen auf SiO_2 bis $90 \text{ Gew.}\%$ zur Kondensation befähigte Zirkonium-, Aluminium- und/oder Titan-Verbindungen enthält.

4. Verfahren gemäß mindestens einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß man als Säure 15 bis $50 \text{ Gew.}\%$ ige Schwefelsäure verwendet.

5. Verfahren gemäß mindestens einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß das gebildete Kieselsäuresol eine Temperatur im Bereich von 0 bis 30°C aufweist.

6. Verfahren gemäß mindestens einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß man als Base in Schritt b) NaOH , NH_4OH , KOH , $\text{Al}(\text{OH})_3$, kolloidale Kieselsäure und/oder eine alkalische Wasserglaslösung verwendet.

7. Verfahren gemäß mindestens einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß man das Gel vor Schritt c) bei 40 bis 100°C , einem pH-Wert von 4 bis 11 zwischen 1 Sekunde und 12 Stunden altert.

8. Verfahren gemäß mindestens einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß man in Schritt c) als organisches Lösungsmittel einen $C_1 - C_6$ -Alkohol, Aceton, Tetrahydrofuran, Essigsäureethylester, Dioxan, n-Hexan, n-Heptan und/oder Toluol einsetzt.

9. Verfahren gemäß mindestens einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß man das in Schritt b) erhaltene Gel vor der Oberflächenmodifizierung mit einer Lösung eines zur Kondensation befähigten Alkyl- und/oder Arylorthosilikates der Formel $R^1_{4-n}Si(OR^2)_n$, wobei $n = 2$ bis 4 ist und R^1 und R^2 unabhängig voneinander lineare oder verzweigte $C_1 - C_6$ -Alkyl-Reste, Cyclohexyl-Reste oder Phenyl-Reste sind, oder mit einer wäßrigen Kieselsäure-Lösung umsetzt.

10. Verfahren gemäß mindestens einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß man in Schritt d) mindestens einen C_3 - C_5 -Alkohol einsetzt.

11. Verfahren gemäß mindestens einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß man in Schritt d) Isopropanol, Isobutanol oder tert-Butanol einsetzt.

12. Verfahren gemäß mindestens einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß man den Alkohol in einer Menge von 1 bis 100 Gew.-%, bezogen auf das gesamte Lösungsmittel einsetzt.

13. Verfahren gemäß mindestens einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß man die Oberflächenmodifikation bei einer Temperatur im Bereich von 25°C bis 220°C, einem Druck von 1 bis 50 bar zwischen 30 Minuten und 20 Stunden durchführt.

14. Verfahren gemäß mindestens einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß man die Oberflächenmodifikation in Gegenwart geringer Mengen eines Silylierungsmittels durchführt.

15. Verfahren gemäß mindestens einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß man die Oberflächenmodifikation in Gegenwart eines Katalysators durchführt.

16. Verfahren gemäß mindestens einem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß man das oberflächenmodifizierte Gel vor dem Schritt e) noch einem Lösungsmitteltausch unterwirft.

17. Verfahren gemäß mindestens einem der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß man das Gel in Schritt e) unterkritisch trocknet.

18. Verfahren gemäß mindestens einem der Ansprüche 1 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß man dem Sol vor der Gelherstellung IR-Trübungsmittel und/oder Fasern zusetzt.

40

45

50

55

60

65